

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



544100

(43) 国際公開日
2004 年 8 月 19 日 (19.08.2004)

PCT

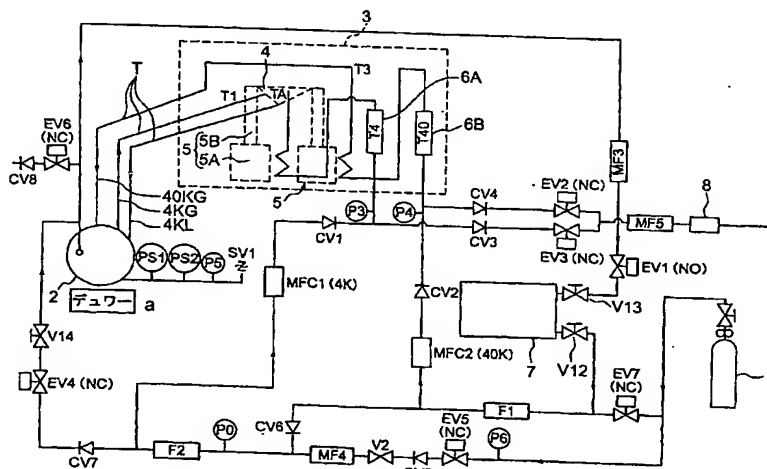
(10) 国際公開番号
WO 2004/070296 A1

- (51) 国際特許分類: F25J 1/00 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/011886 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 武田 常広
(22) 国際出願日: 2003 年 9 月 18 日 (18.09.2003) (TAKEDA, Tsunehiro) [JP/JP]; 〒305-0821 茨城県つくば市 春日 2-4 3-8 Ibaraki (JP).
(25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 長瀬 成城 (NAGASE, Shigeki); 〒101-0064 東京都千代田区猿樂町 2-4-2 小黒ビル Tokyo (JP).
(26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): CA, US.
(30) 優先権データ: 特願2003-25525 2003 年 2 月 3 日 (03.02.2003) JP (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 科学技術振興事業団 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県 川口市 本町四丁目 1 番 8 号 Saitama (JP). 添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: CIRCULATION-TYPE LIQUID HELIUM RELIQUEFACTION APPARATUS WITH CONTAMINANT DISCHARGE FUNCTION, METHOD OF DISCHARGING CONTAMINANT FROM THE APPARATUS, AND REFINER AND TRANSFER TUBE BOTH OF WHICH ARE USED FOR THE APPARATUS

(54) 発明の名称: 汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置、その装置からの汚染物質排出方法、その装置に使用する精製器およびトランスファーチューブ



a...DEWER

(57) Abstract: A circulation-type liquid helium reliquefaction apparatus provided with a contaminant discharge function capable of evaporating and removing contaminant accumulated in a refiner provided in the apparatus. The apparatus is characterized in that a heater is provided in a refiner (6) for refining an evaporated helium gas pumped by a circulation pump (7) from a liquefied helium storage vessel (2), and a gas discharge circuit is provided on the inflow side of the refiner. Evaporated contaminant produced when the refiner (6) is heated by the heater is pumped by the circulation pump (7) or a dedicated gas-discharge pump (8) through the gas discharge circuit, and is then discharged to the air.

(57) 要約: 本発明は、装置内に配置した精製器に蓄積した汚染物質を気化して取り除くことができる汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置に関するものであり、液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプ7で汲み上げて精製器で精製する精製器6にヒータを設けるとともに前記精製器流入側に排気回路を設け、前記ヒータによって精製器6を加熱した際に発生す

[続葉有]

WO 2004/070296 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

る気化した汚染物質を前記排気回路を介して循環ポンプ7または専用排気ポンプ8で汲み上げ、大気に放出するべく構成したことを特徴としている。

明細書

汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置、その装置からの汚染物質排出方法、その装置に使用する精製器およびトランスファーチューブ

技術分野

本発明は汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置および汚染物質排出方法に関するものであり、さらに具体的には、脳磁計等を液体ヘリウムを用いて極低温に維持するための装置において、装置内に配置した精製器に蓄積した汚染物質を気化しながら効率よく取り除くことができる汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置および同装置からの汚染物質排出方法、その装置に使用する精製器およびトランスファーチューブに関するものである。

背景技術

極めて多くの低温物性研究や超伝導素子を用いた計測器等の冷却に、液体ヘリウムは不可欠である。こうした機器において、現在ほとんどの場合、冷却のための液体ヘリウムは蒸発した後、大気に放出する形で利用されている。ところが液体ヘリウムは希少な資源であり、高価なため、蒸発したヘリウムガスを回収し再度液化して再利用したいという要求は極めて強いものがある。

このため、最近では、液体ヘリウム貯留槽で気化したヘリウムガスを全量回収し、システム内でヘリウムガス内の汚染物質を除去した後、再凝縮して液化する再循環システムが研究されている（特許文献1：特開2000-105072）。

ところで、前記従来型の循環システムでは、システム内の種々のシール箇所から、極微量の酸素や窒素等の汚染物質が少しずつヘリウムガス内に混入することを防ぐことができず、このためヘリウムガスを冷却する過程において、ガス内に混入している極微量の酸素や窒素等の汚染物質が装置内の種々の箇所で凍りつき、循環システムを閉塞しシステムが正常に運転できないという問題がでてきた。

こうした問題を解決するために、本発明者等は、すでにヘリウムガス精製器を開発し、上記汚染物質を凝固して取り除くことに成功している。このヘリウムガス精製器は、システム運転中に汚染物質を精製器内で凝固し、精製器内に汚染物質が所定量蓄積されると、精製器に付設したヒータによって凝固した汚染物質を液化し、液化した汚染物質を適宜手段により精製器から系外に排出できる仕組みとなっている（特許文献2：特願2002-16430）。

しかし、システム内の配管系に侵入する汚染物質は、システムの密封性をいくら高めても極くわずかつシステム内に侵入し、その凝固物は予測不能な部分で成長するため、単純に容積の大きなヘリウムガス精製器を作っても意外に早く閉塞が発生し、長期間の使用に耐えられないという問題が明らかとなってきた。

また汚染物質を液化して系外に排出するということは、精製器内で汚染物質を気化させることなく液化状態に維持しておく必要があるため、精製器に付設のヒータの温度管理が必要となり、その管理が面倒であり、さらに液化した汚染物質を精製器からわざわざ取り出すための作業が必要となってくる。

このような背景から、本発明者らは精製器のさらなる研究を進めた結果、精製器中で固化（凝固）した汚染物質を気化して系外に排出する新技術の開発に成功した。

本発明は、上記知見にもとづいてなされたものであり、液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる液体ヘリウム再液化システムにおいて、前記精製器にヒータを取り付け、汚染物質が所定量以上蓄積されると、ヒータによって精製器を加熱し、蓄積された汚染物質を気化し、気化した汚染物質を装置内のポンプを利用して大気に放出する長期間連続運転が可能な、循環式液体ヘリウム再液化装置およびその装置からの汚染物質排出方法を提供することを目的とする。

また他の目的として、ヘリウムガス中に含まれる汚染物質を除去し、さらに汚染物質を気化して容易にシステム外部に排出することができる循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する高熱勾配ヘリウムガス精製器を提供することにある。

さらに、また、他の目的として、ヘリウムガスを循環している際に、外部から

の熱侵入が少なく、エネルギーロスを大幅に改善できる循環式液体ヘリウム再液化装置に使用するトランスファータブを提供することにある。

発明の開示

上記目的を達成するために、本発明が採用した技術解決手段は、

液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置において、前記精製器にヒータを設けるとともに前記精製器流入側に排気回路を設け、前記ヒータによって精製器を加熱した際に発生する気化した汚染物質を前記排気回路を介してポンプで汲み上げ大気に放出するべく構成したことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置である。

また、前記排気回路には排気専用のポンプを備え、気化した汚染物質を前記排気専用のポンプで汲み上げ大気に放出するべく構成したことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置である。

また、前記精製器の流入側には精製器に流入するヘリウムガスの流量を調整するマスフローコントローラを設けたことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置である。

また、前記精製器の流入側には複数の弁を設け、これらの弁を組み合わせることにより精製器に流入するヘリウムガスの流量を調整できるようにしたことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置である。

また、前記排気回路は、精製器の流入側回路と前記循環ポンプの流入弁とを連通する回路として構成し、前記排気回路内には排気用の電磁弁を設け、さらに前記循環ポンプの下流側には大気放出用の電磁弁を配置して構成したことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置である。

また、前記精製器から精製されたヘリウムを略 4 K 付近の温度のガスまたは液体で貯留する凝縮ポットを設け、前記凝縮ポットにはヒータを付設したことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置である。

また、前記液体ヘリウム貯留槽（デュワー）には、液体ヘリウム貯留槽内の圧力制御を行うための電磁弁が配置されていることを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置である。

また、液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウムを液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる液体ヘリウム再液化方法において、前記精製器を加熱することにより、精製器に蓄積された汚染物質を気化し、気化した汚染物質を大気に放出することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法である。

また、液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、凝縮ポットに貯留し、凝縮ポットから液体ヘリウムを液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる液体ヘリウム再液化方法において、少なくとも前記凝縮ポットまたは前記精製器のいずれか一方を加熱することにより、精製器に蓄積された汚染物質を気化し、気化した汚染物質を大気に放出することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法である。

また、前記気化した汚染物質を専用ポンプで吸引し大気に放出することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法である。

また、前記気化した汚染物質を循環ポンプで吸引し大気に放出することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法である。

また、前記凝縮ポットまたは前記精製器の加熱は、精製器内の圧力が一定値以上と成った時に加熱を開始し、圧力が一定値以下になった時に加熱を停止することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法である。

また、前記凝縮ポットまたは前記精製器の加熱は、精製器内の流速が一定値以下と成った時に加熱を開始し、流速が一定値以上になった時に加熱を停止することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法である。

また、前記凝縮ポットまたは前記精製器の加熱、冷却は、加熱・逆流モード、冷却モード、循環回復モード、液面回復モードに従って行うことを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法である。

また、液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げ

て精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する精製器であって、前記精製器は熱伝導性のよいハウジングと、このハウジングに連続して設けた汚染物質固化部と、このハウジング内にヘリウムガスを導入するための導入手段と、前記固化部に付着した汚染物質を気化する加熱手段とを備え、精製器内で気化した汚染物質を前記導入手段を介して大気に放出できるようにしたことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する精製器である。

また、前記汚染物質固化部は熱伝導性のよいフィンにより構成したジグザクの流路であることを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する精製器である。

また、前記ハウジング内には、熱勾配を小さくするための部材を介して導入手段を支持したことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する精製器である。

また、前記熱勾配を小さくするための部材はステンレス製の蛇腹部材であることを特徴とするヘリウムガス精製器である。

また液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置に使用するトランスファーチューブであって、前記トランスファーチューブは、中心部に略4 Kの液体ヘリウム（略4 K L）が流れる管が配置され、その外側に同軸状に略4 Kの液体ヘリウムガス（略4 K G）が流れる管が配置され、さらに、その外側に同軸状に略40 Kの液体ヘリウムガスが流れる管が配置され、各管の間、および最外側の管の外側には真空断熱層が形成されていることを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置に使用するトランスファーチューブである。

また、前記略4 Kの液体ヘリウム用の管とその外側に同軸状に配置した略4 Kの液体ヘリウムガス用の管との間の真空断熱層の先端、および最外側の略40 Kの液体ヘリウムガスの管の周囲に形成した真空断熱層の先端にはヒータが配置されていることを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置に使用するトランスファーチューブである。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明に係る循環式液体ヘリウム再液化装置の構成図である。

図 2 は、同装置内で使用する精製器の構成図である。

図 3 は、同装置内で使用するトランスファーチューブの断面図である。

図 4 は、精製器に設けたヒータの制御ブロック図である。

図 5 は、ヒータの加熱およびパージの状態を説明する図である。

図 6 は、本発明に係る第 2 実施形態の循環式液体ヘリウム再液化装置の構成図である。

図 7 は、本発明に係る第 3 実施形態の循環式液体ヘリウム再液化装置の構成図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明に係る循環式液体ヘリウム再液化装置の説明をすると、図 1 は本発明の第 1 実施形態に係る循環式液体ヘリウム再液化装置の構成図、図 2 は同装置内で使用する精製器の構成図、図 3 はトランスファーチューブの半断面図、図 4 は精製器に設けたヒータの制御ブロック図、図 5 はヒータの加熱および気化した汚染物質を排気（パージ）する状態の説明図である。

図 1 において、1 はヘリウムガスボンベ、2 はデュワー（液体ヘリウム貯留槽）、3 はコールドボックス、4 はヒータ付の凝縮ポット（ヒータは図示せず）、5 は最近進歩の著しい冷却能力の大きな冷凍機でありヘリウムガスを略 40 K 程度にまで冷却する第 1 冷凍ステージ 5 A と、略 40 K にまで冷却されたヘリウムガスを略 4 K 程度にまで冷却する第 2 冷凍ステージ 5 B からなる 2 台の冷凍機、6 A は略 4 K ライン内のヒータ付第 1 精製器、6 B は略 40 K ライン内のヒータ付第 2 精製器、7 は循環ポンプ、8 は排気ポンプ、P S 1、P S 2、P 0、P 3 ～P 6 は圧力計、V 1 2 は循環ポンプの流出弁、V 1 3 は循環ポンプの流入弁、V 2、V 1 4 は切替弁、C V 1 ～C V 8 はチャッキ弁、M F C 1 は略 4 K ライン内の流量調整用の一定流量制御弁、M F C 2 は略 40 K ライン内の流量調整の一定流量制御弁、M F 3 ～M F 5 はマスフローメータ、E V 1 はノーマルオープの

電磁弁、E V 2～E V 7 はノーマルクローズの電磁弁、F 1、F 2 はフィルター、S V 1 は安全弁である。前記凝縮ポット 4 に設けられるヒータは、少なくとも 2 段階での温度制御が可能な能力をもち、精製器 6 A、6 B 内の汚染物質を後述する態様で気化する際にはヒータを最大能力（たとえば 1 K W 程度）とし、通常運転の時はヒータを最低能力（たとえば 2 W 程度）で制御しながら使用する。なお、このヒータは別々のヒータを設けても良いし、一つのヒータを使用し、温度制御しながら使用することも可能である。また、前記冷凍機 5 は必要に応じて数を増減することができる。また、本実施形態では 2 段の冷凍機を 2 台使用したが、多段の冷凍機に代えたり、1 台にすることも可能である。

また、コールドボックス 3 内の凝縮ポット 4、冷凍機 5 とデュワー 2 とを接続する流路（回路）には、後述する複数の流路を一体に構成したトランスファータube T を使用し、第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B および凝縮ポット 4 にはヒータ（後述する）が付設され、汚染物質を除去する時等に各ヒータを作動させることができるようになっている。

また、本例では、前記第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B への流入側回路には、それぞれチャッキ弁 C V 3、C V 4、電磁弁 E V 2、電磁弁 E V 3 を介してマスフローメータ M F 5 が接続され、さらにこのマスフローメータ 5 には排気ポンプ 8 が接続されている。なお、チャッキ弁 C V 3、C V 4 の上流側を合流して一つの回路とし、チャッキ弁 C V 3、C V 4 および電磁弁 E V 2、E V 3 をそれぞれ一つの弁とすることが可能であり、さらに合流箇所をチャッキ弁 C V 3、C V 4 の下流側にすることも可能であり、それらの選択は設計時に自由に選定することができる。

さらに略 4 K ライン内の一定流量制御弁 M F C 1 の流入側とデュワー 2 とは図示のように、チャッキ弁 C V 7、ノーマルクローズの電磁弁 E V 4 と切替弁 V 1 4 とを備えた回路で接続されている。

また、デュワー 2 のネックチューブ部からの高温ヘリウムガスを取り出すための回路（デュワー 2 とマスフローメータ M F 3 を接続する回路）の途中にはノーマルクローズの電磁弁 E V 6 が配置され、その下流側にはチャッキ弁 C V 8 が設けられている。

前記各部品は、図示のように配管で接続され基本部分では従来の循環式液体ヘリウム再液化装置と同様の回路構成となっている。

なお電磁弁、弁等は必要に応じて全てを電磁弁、あるいは手動弁を使用することが可能であり、また装置内の弁は適宜省略、増設することが可能である。また、第1、第2精製器6A、6Bの詳細構成は後述する。

上記循環式液体ヘリウム再液化装置の作動態様の一例を説明する。

〔通常運転〕

公知のようにデュワー2で蒸発したヘリウムガスはデュワー2のネックチューブ部からマスフローメータMF3→ノーマルオープンの電磁弁EV1→流入弁13→循環ポンプ7→流出弁12→フィルタF1を経た後、二つに分岐される。

分岐後の一方側は略40Kライン内の一定流量制御弁MFC2→チャッキ弁CV2を通して第2精製器6Bに入り、精製された後、冷凍機5に送られる。また、分岐後の他方側は、チャッキ弁CV6→フィルタF2→略4Kライン内の一定流量制御弁MFC1→チャッキ弁CV1を通して第1精製器6Aに入り、精製された後、冷凍機5に送られる。第1精製器6Aで精製されたヘリウムガスは冷凍機5の第1冷凍ステージ5Aにおいて略40K程度にまで冷却され図1に示すようにデュワー2のネック部に略40Kの冷却用ヘリウムガスとして供給される。また、第2精製器6Bで精製された略4Kライン内のヘリウムガスは図1に示すように冷凍機5の第1冷凍ステージ5Aで略40Kにまで冷却された後、第2ステージ5Bで冷却される凝縮ポット4に供給される。凝縮ポット4内は、第2ステージ5Bからの冷熱により略4Kまで冷却されており、凝縮ポット4内に供給されたヘリウムガスは液化され、デュワー2に供給される。デュワー2からはガス化した略4Kガスの一部が凝縮ポット4に戻り、再び液化される。

〔通常運転中、ヘリウムガス不足が生じた場合〕

上記装置において、運転中に装置全体が過冷却状態になると、必要以上にヘリウムガスの液化が進みデュワー2内の圧力が低下する。このような圧力低下を検知すると、凝縮ポット内の最低能力のヒータ（2W程度のヒータ）を作動させ、温度を昇温させてデュワー2内の圧力低下を防止する。また、デュワー2内で液体ヘリウムが不足した場合には必要に応じてノーマルクローズの電磁弁EV5を

開きマスフローメータMF 4を介して不足分のヘリウムガスを略4 Kライン内の一定流量制御弁MF C 1を介して第1精製器6 Aに供給し、精製されたヘリウムガスを冷凍機で冷却してデュワー2に供給できるようにする。このとき、ヘリウムガスの供給が充分になると、デュワー2内の圧力が所定値以上に昇圧するため、ノーマルクローズの電磁弁EV 5を閉じ、ヘリウムガスポンベ1からのヘリウムガスの供給を止めデュワー2内を適正值に維持する。なお、ヘリウムガスポンベ1からのヘリウムガスの供給は、ノーマルクローズの電磁弁EV 5だけでなく、必要に応じてノーマルクローズの電磁弁EV 7、あるいは両方からも供給することが可能である。

〔精製器内の汚染物質の除去〕

循環式液体ヘリウム再液化装置が作動中に第1精製器6 A、第2精製器6 B（各精製器の構成は後述する）に汚染物質が所定以上に溜まる（固着する）と、ヘリウム液化作動を一旦停止し、第1精製器6 A、第2精製器6 B内のヒータ、凝縮ポット4に付設の最大能力のヒータ（1 KW）を作動する（なお、このヒータの作動は精製器のヒータのみ、凝縮器のヒータのみ、あるいは両ヒータをともに作動することができる）。この結果、第1精製器6 A、第2精製器6 B内が加熱されフィン（フィンの構成については後述する）等に固着している固化汚染物質が気化される。この時、電磁弁EV 2、EV 3を開き、排気ポンプ8を作動すると排気ポンプ8の働きにより気化した汚染物質は排気ポンプ8から系外に排出される。凝縮ポット4に設けた高能力ヒータ（略1 KW）が作動している場合には、熱伝導によって精製器6 A、6 Bが暖められると同時に凝縮ポット4内のヘリウムガスが暖められ、第1精製器6 A、第2精製器6 Bに温まったヘリウムガスを逆流させることができる。こうして、第1精製器6 A、第2精製器6 B内の汚染物質を気化することにより除去でき、再び、ヘリウムガス精製が可能な状態に復帰する。なお、ヒータのさらに詳しい制御については後述する。

〔装置の通常運転へ復帰〕

循環式液体ヘリウム再液化装置を再び作動させる際には、第1精製器6 A、第2精製器6 B内のヒータ、凝縮ポット4に付設のヒータの作動を停止し、ノーマルクローズの電磁弁EV 2、EV 3を閉じ排気ポンプ8を停止する。そして、冷

凍機 5 を運転して装置を徐々に冷却したのち、精製器 6 A、6 B が動作温度にまで冷却されると循環ポンプ 7 を作動する。この作動により、デュワー 2 中のヘリウムガスが吸引され液化作業が開始される。

図 4 を参照して上記第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B（以下精製器 6 とする）、凝縮ポット 4 に付設したヒータの作動状態、循環ポンプ 7、排気ポンプ 8 の作動状態、さらには各弁の開閉を制御する制御ブロックの一例について、また図 5 を参照してヒータ制御の一例を説明する。

第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B のヒータ加熱、凝縮ポットのヒータ加熱は基本的には何れかの精製器のセンサが汚染物質を検知した場合に同時に行うことになるが、各ヒータはそれぞれ別々に作動させることも可能である。

図 4 に示すように精製器 6 には、ヒータ 8 4、温度センサ 8 5、汚染物質検知センサ 8 6 が設けられており、凝縮ポット 4 にはヒータ 8 7、温度センサ 8 8 が設けられている。ヒータ 8 4 はリレースイッチ 8 2 A を介して電源 8 3 に接続されており、またヒータ 8 7 はリレースイッチ 8 2 B を介して電源 8 3 に接続されている。リレースイッチ 8 2 A、8 2 B は制御器 8 1 からの指令によりスイッチが ON となる常開型スイッチとして構成されている。制御器 8 1 には冷凍機 5、循環ポンプ 7、排気ポンプ 8、電磁弁 E V 1 ～ E V 7、精製器 6 に設けた図示せぬ汚染物質検知センサ 8 6（圧力センサあるいは流速センサあるいは精製器内に蓄積した汚染物質の厚さ等を検知するセンサ）および前記ヒータ 8 4、8 7 の温度を検出する温度センサ 8 5、8 8 が接続されている。

上記制御ブロックによるヒータ制御の一例を図 5 を参照して説明する。

なお、凝縮ポットに付設のヒータ 8 7 は精製器 6 のヒータ 8 4 と同じパターンで制御されることがのぞましいが、別の態様（それぞれのヒータが独立して制御されるようにすること）も可能である。

〔加熱・逆流モード〕

精製器 6 に設けた汚染物質検知センサ 8 6 が汚染物質が所定量蓄積したことを検知すると、制御器 8 1 からの指令により、冷凍機 5 の運転を停止し、リレースイッチ 8 2 A、8 2 B を ON とし、ヒータ 8 4、8 7 の加熱を開始する加熱・逆流モードに入る（図 5 参照）。同時にノーマルクローズの電磁弁 E V 2、E V 3

を開き、排気ポンプ 8 を作動する。排気ポンプ 8 の作動により、精製器 6 内で気化した汚染物質は大気に放出される。そしてヒータ 8 4、8 7 への通電は、図 5 に示すようにヒータ 8 4、8 7 の温度が予め設定した温度 T_3 になるまで急激に加熱され、その後、ヒータをオン・オフしながら温度 T_3 を維持し、温度 T_3 が所定時間（精製器内に固化堆積した汚染物質が全て気化するまでの時間、たとえば約 60 分程度）維持される。

〔冷却モード〕

精製器に固着した汚染物質が全て気化し、外部放出されるとヒータの加熱が停止され、冷凍機の運転を再開する。このモードによりヒータによって暖められた循環式液体ヘリウム再液化装置全体を冷却する。このため冷却モードはできるだけ早くシステム全体を冷却する必要があることから、冷凍機の運転を再開すると略同時にノーマルクローズの電磁弁 EV_2 、 EV_3 を閉じ、排気ポンプ 8 の作動を停止する。そして冷凍機 5 の運転より装置を徐々に冷却したのち、循環ポンプ 7 の運転を開始する。冷凍機 5、循環ポンプ 7 の運転によりヘリウムガスが循環しはじめ装置内の温度が図 5 に示すように急激に低下するが、この温度低下により装置内のヘリウムガス体積が収縮し、装置内が負圧になり外部から装置内に汚染物質が侵入してくる可能性がでてくる。このため、このような事態を回避するために、冷却モードでは、装置内が負圧にならないように、適宜電磁弁 EV_5 、 EV_7 を開いて綺麗なヘリウムガスをヘリウムガスボンベ 1 から少しずつ装置内に供給する。そして、装置内の温度が T_2 （略 40 K）にまで低下すると循環回復モードに入る。この時、デュワー 2 内の圧力が第 1 所定値以内（例えばデュワー圧が 4～5 Pa の間）にあるように、デュワー 2 内の過圧防止、負圧防止のために電磁弁 EV_4 、 EV_5 、 EV_6 、 EV_7 を制御しながら圧力制御を行う。

〔循環回復モード〕

所定時間経過し冷却モードが終了すると、精製器 6 A、6 B の温度が略 40 K 程度にまで低下するため、再びヘリウムガスの精製が始まる。このモード中、デュワー 2 内の圧力が第 2 所定値（例えばデュワー圧が 900～1200 Pa の間）となるように略 4 K ライン内の一定流量制御弁 MFC_1 、略 40 K ライン内の一定流量制御弁 MFC_2 を制御しながらヘリウムガスを循環する（略 4 K ライン

の流量を徐々に増して循環させる)。また、デュワー 2 内の圧力制御は電磁弁 E V 4、電磁弁 E V 6 を開閉しながら行うとともに、必要に応じてヘリウムガスをガスボンベ 1 からデュワー 2 に供給することも可能である。

〔液面回復モード〕

循環回復モードが終了後は、デュワー 2 内の液体ヘリウムの液面が低下しているため、所定の液面となるように、電磁弁 E V 5 を開き、きれいなヘリウムガスをヘリウムガスボンベ 1 から略 4 K ラインに供給する。この制御により、ヘリウムガスボンベ 1 から供給されたヘリウムガスが冷凍機 5 で大量に液化され、略 4 K ラインの液体ヘリウム供給量を増大し、デュワー内の液面が回復する。

〔順流モード〕

液面回復モードの後は、通常運転モードに復帰する。

なお、図 5 はあくまでも上記各モードの制御の一例であり、当然のことながら、装置の大小により各モードのパターンが変化したり、あるいは各弁、ヒータの作動制御態様、ヘリウムガス供給のタイミングは変化してくる。これらへの対応は装置の設計時に制御プログラムを変更するなど任意に設定できることである。また装置内の弁全てを電磁弁に代えて、制御器からの指令で全ての弁を開閉できるようにしてもよい。また全ての弁を手動にすることも可能である。

続いて上記装置内で使用する精製器の一例を説明すると、図 2 は精製器の断面図である。

図 1 に示すようにコールドボックス 3 には 2 個の精製器（第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B）が配置されているが、2 個の精製器 6 A、6 B は同じ構成をしており、ここでは一方側の第 1 精製器 6 A（以下精製器 6 とする）の構成を説明する。

精製器 6 は図 2 に示すように熱伝導性の良い銅材等で作られた円筒型をしたハウジング 6 1 を有しており、このハウジング 6 1 の外周にはヒータを取り付けるためのスペース 6 2 が形成され、そのスペース内に不図示のヒータが配置される。ハウジング 6 1 の下端は連結部材 6 3 を介して図 1 に示す冷凍機 5 の第 1 冷凍ステージ 5 A に連結されている。このためハウジング 6 1 は略 4 0 K に冷却された温度となっている。

ハウジング 6 1 にはデュワー 2 からの蒸発ヘリウムガスをハウジング 6 1 内に導入するステンレス製の導入パイプ 6 4 が挿入され、導入パイプ 6 4 は断熱材 6 5 を介して固定されている。またハウジング 6 1 および導入パイプ 6 4 は、図 1 に示すコールドボックス 3 を構成する断熱壁に適宜の断熱性支持部材を介して固定されている。ハウジング 6 1 内において、この導入パイプ 6 4 の周囲にはステンレス製の蛇腹部材 6 6 の一端側が溶接 6 7 等により固定されている。また、蛇腹部材 6 6 の他端側はハウジング 6 1 に溶接 6 8 等により固定されている。ハウジング 6 1 の上方には熱伝導性の良い材料からなる上部管 6 9 が、熱伝導性のよい材料からなる連結部材 7 0 によって取り付けられている。さらに、この上部管 6 9 の上方には流出用の管 7 1 が、熱伝導性の良い材料からなる支持部材 7 2 によって固定されている。また上部管 6 9 の内壁には、熱伝導性のよい材料からなるフィン（汚染物質固化部）7 3 が互い違いに流路がジクザクになるように適宜敷設けられている。

フィン 7 3 はフィン 7 3 を固定する固定棒 7 5 によって固定され、また固定棒 7 5 はその下端がハウジング 6 1 内に配置した保持体 7 4 によって保持されている。そして、前述したように、ハウジング 6 1、上部管 6 9、連結部材 7 0、管 7 1、支持部材 7 2、フィン 7 3、保持体 7 4、固定棒 7 5 はいずれも熱伝導性のよい銅材等によって構成され、フィン 7 3 が冷凍機 5 と同じ略 4 0 K に冷却される構成となっている。なお、フィン 7 3 がヘリウムガス中の汚染物質を固化できる温度（略 4 0 K）に冷却される構成であれば、フィンの支持構造は先述した構成に限定されない。

一方、前記導入パイプ 6 4 にはデュワー 2 で蒸発した高温のヘリウムガス（略 3 0 0 K）が流れるため、導入パイプは少なくとも略 3 0 0 K に近い温度となっている。またハウジングは前述したように略 4 0 K であるため、できるだけその間の熱勾配を小さくするために両者は上記したようにステンレス製の蛇腹部材 6 6 で接続されている。この蛇腹部材 6 6 は導入パイプ 6 4 の出口周囲に所定のスペースを確保しながら、出口周囲を囲むように配置されている。この結果、導入パイプ 6 4 の出口付近の周囲に大きなスペースを備えることになり、出口付近がハウジング 6 1 からの熱伝導によって略 4 0 K にまで冷却されることを防止し、

出口部に汚染物質が蓄積することを防止している。

この精製器 6 では略 3 0 0 K の温度でハウジング内に流入した蒸発ヘリウムガスは、略 4 0 K に冷却されているフィン 7 3 で構成されたジクザグの流路を通過する間に略 4 0 K にまで冷却される。この冷却過程でガス内に混入している汚染物質（酸素や窒素等）がフィン 7 3 に凍りついて固化し除去され、ヘリウムガスが精製される。精製後、略 4 0 K に冷却されたヘリウムガスは管 7 1 を介して図 1 に示す冷凍機 5 の第 1 冷凍ステージ 5 A に供給されて略 4 0 K 程度にまで冷却され、デューワー 2 あるいは第 2 冷凍ステージ 5 B で、さらに略 4 K まで冷却されて凝縮ポット 4 に供給される。

この精製器 6 において、フィン 7 3 に汚染物質が蓄積した場合には、その状態を後述するセンサで検知し、後述する制御器を介してハウジング 6 1 に取り付けたヒータ（図示せず）に通電し、汚染物質が気化する温度にまでハウジング 6 1 を加熱する。この結果、ハウジング 6 1 と熱伝導性のよい銅材で接続されているフィン 7 3 も加熱され、フィン 7 3 に蓄積した汚染物質が気化する。気化した汚染物質は、制御器からの指令によって流路を開いた図 1 に示すノーマルクローズの電磁弁 E V 2、E V 3 を介して排気ポンプ 8 から系外に排出される。

また、精製器のヒータ加熱時には、凝縮ポット 4 に設けたヒータも作動させ、凝縮ポット 4 内の略 4 K ガスを暖めて、第 1 精製器 6 A に温まったヘリウムガスを逆流させる。こうして、第 1 精製器 6 A（第 2 精製器 6 B）内の汚染物質の気化が促進され、短時間で汚染物質を除去でき、再び、ヘリウムガス精製状態へと短時間で戻すことができる。

次に凝縮ポット 4 とデューワー 2 とを接続するトランスファーチューブ T の説明をする。

脳磁計等の装置に流入する熱は、デューワー 2 のネックチューブ部において略 4 0 K に熱アンカーされている。このためこのネックチューブの熱を効率良く回収してやれば、補充すべき液体ヘリウム量は劇的に減少し、結果的に液体ヘリウム生成費用を大幅に低下させることができる。そのため最近進歩の著しい略 4 K G M 冷凍機を用いる。回収したヘリウムガスの大半を図 1 に示す第 2 精製器 6 B を介して冷凍機 5 の第 1 冷凍ステージ 5 A に供給し、冷却能力の大きい第 1 冷凍ス

テージを利用して液体にすることなく、略40 K程度の低温ガスにし、デュワー2のネックチューブ部に供給し、再度高温ガスとして回収することによって冷却能力を発揮させる。また、デュワーから回収したヘリウムガスの一部は、図1に示す第1精製器6Aを介して冷凍機5の第1冷凍ステージ5Aを経て第2冷凍ステージ5Bに取り付けた凝縮ポット4に供給し、凝縮ポット4内で4.2 Kの液体ヘリウムにする。凝縮ポット4の液体ヘリウムはトランスファーチューブ内の略4 K液体供給ラインからデュワー2に注入される。この際、長いトランスファーチューブを介してデュワーに液体ヘリウムを充填する必要がある。

従来の、トランスファーチューブでは、熱侵入が大きいため、8リットル（液体）／日程度の少ない液体ヘリウムを移送しようとする、大半の液体ヘリウムが気化してしまうため、より多くの液体ヘリウムを生成する必要が生じ、大きな無駄となる問題があった。

このため、本例では液体ヘリウムが気化して所期の性能を達成することが困難になることを避けるために、中心部に略4 Kの液体ヘリウムガス（略4 K L）を、その外側に略4 Kのヘリウムガス（略4 K G）を、さらにその外側に略40 Kガス（略40 K G）を通すことができる、同軸状のトランスファーチューブを構成する。また各管を従来型の真空断熱層V c cで分離した構成としている。さらに、略40 Kガスラインはデュワー2内のネックチューブ部に熱アンカーされて、外部からの熱が内部に侵入しにくくしている。

以下トランスファーチューブの構成をさらに詳細に説明すると、図3はトランスファーチューブTの半断面図である。

中心部に略4 Kの液体ヘリウム（略4 K L）が流れる管が配置され、その外側に同軸状に略4 Kの液体ヘリウムガス（略4 K G）が流れる管が配置され、さらに、その外側に同軸状に略40 Kの液体ヘリウムガスが流れる管が配置される。このトランスファーチューブは図1に示すようにデュワー2のネックチューブ部に配置される略40 K Gのラインと、デュワー2内に液面近傍に配置される略4 K Lラインと略4 K Gラインとが図示のように開口部の位置を代えて構成されている。そして各管の間、および最外側の管の外側には真空断熱層V c cが形成されている。液体ヘリウム（略4 K L）の管とその外側に同軸状に配置した略4 K

の液体ヘリウムガス（略 4 K G）との間の真空断熱層 V c c の先端、および最外側の略 4 0 K の液体ヘリウムガスの管の周囲に形成した真空断熱層 V c c の先端にはヒータ H が配置される。ヒータ H にはコード C が接続され、適宜ヒータを加熱することができる構成となっている。この構成により、トランスファーチューブ T の先端部に汚染物質が固化堆積した場合にはヒータにより固化した汚染物質を適宜気化又は液化して流路の閉塞を解除できるようになっている。このヒータは前述した精製器ヒータの作動に連動して加熱したり、それとは独立して加熱することができ、この運転は制御器あるいは手動により自由に設定できる。

上記構成からなる循環式液体ヘリウム再液化装置によるヘリウムガスの精製過程を説明する。

液体ヘリウム貯留槽（デュワー）2 で気化したヘリウムガスは、略 3 0 0 K の状態で図 2 に示す精製器 6 の導入パイプ 6 4 に導入され、ハウジング 6 1 内→上部管 6 9 内のフィン 7 3 の間を迂回しながら徐々に略 4 0 K に冷却され、管 7 1 から排出される。この時、ヘリウムガス内に、窒素或いは酸素等の汚染物質が混入していれば、窒素或いは酸素等の汚染物質は、温度約略 4 0 K に冷却されている上部管 6 9 のフィン 7 3 を蛇行する間に、フィン 7 3 上で固化（氷結）され除去される。

また、精製中に汚染物質がフィン 7 3 部で固化堆積し、流路が閉塞されるとその状態を前記汚染物質検知センサ 8 6 が検知し、制御器 8 1 を介してヒータ 8 4 あるいはヒータ 8 7 を加熱し、ヒータ 8 4 により上部管 6 9、フィン 7 3 を加熱する。またヒータ 8 7 によって加熱されたヘリウムガスが精製器内に逆流する。この加熱・逆流によりフィン 7 3 部で固化した窒素や酸素等の汚染物質は気化される。これと略同時に、ノーマルクローズの電磁弁 E V 2、E V 3 を開き、排気ポンプ 8 を作動し、気化した汚染物質を系外に排出する。こうして固化によるフィン 7 3 部分や管 7 1 等の詰まり状態を解消する。汚染物質が除去されるとヒータの作動を停止し、前述した態様により循環式液体ヘリウム再液化装置の運転を再開する。なおヒータの通電は、上述したように精製器の詰まりを検知する汚染物質検知センサからの情報によって制御する方法とは別に、液化装置の運転時間によって精製器に蓄積する汚染物質の量が予め推定できる場合には、定期的に所

定のサイクルでヒータを加熱する方法を採用することもできる。

また、汚染物質によってフィン 7 3、管 7 1 等の流路が詰まった場合の、状態検知は、たとえば精製器内の圧力、流速、温度、さらには汚染物質の堆積厚さ等種々の情報を利用できる。また、精製器のヒータ 8 4、凝縮ポットのヒータ 8 7 の ON、OFF 作動は、自動、手動のどちらで行なうことができるようにしてもよい。さらに、ヒータの作動は、ヘリウムガス通路の閉塞による管内の圧力が所定値となった時のみ、管内の温度が所定値となった時のみ、あるいは、ヘリウムガス通路内のガス流速のみ、さらにはそれらの情報を適宜組み合わせ検知し、作動するようにしてもよい。

つづいて、本発明の第 2 実施形態について説明する。第 2 実施形態は、第 1 実施形態中、略 4 K ライン内の一定流量制御弁 MFC 1、略 4 0 K ライン内の一定流量制御弁 MFC 1 に代えて、異なる流量を持つ複数の弁を組み合わせ、所定の流量を得ることができる構成とした点に特徴があり、ここではその特徴部を中心に説明する。なお、第 1 実施形態と同じ部材には同じ符号を使用しており、図中 EV (NO) はノーマルオープンの電磁弁、EV (NC) はノーマルクローズの電磁弁、V は切替弁であり、EV、V の後の数字は、電磁弁の位置を示している。他の符号も同様である。

図 6 において、略 4 K ライン内の一定流量制御弁 MFC 1 の代わりに、ノーマルクローズの電磁弁 EV 7、EV 9、ノーマルオープンの電磁弁 EV 8 を並列に設け、さらに流路内に切替弁 V 1 2、V 6、調整弁 NV 1 を設けている。調整弁 NV 1 は、この例では 0.8 リットル／m のものを使用している。

また、略 4 0 K ライン内の一定流量制御弁 MFC 2 の代わりにノーマルオープンの電磁弁 EV 1 0 を設け、さらにこの電磁弁 EV 1 0 と並列に流路内に調整弁 NV 2 を設けている。調整弁 NV 2 はこの例では 1 リットル／m のものを使用している。また、ヘリウムボンベからは直接ヘリウムガスを切替弁 V 2 0 を介して循環ポンプ 7 に供給できる構成としている。第 2 実施形態では一定流量制御弁 MFC の代わりに複数の切替弁等を使用することにより、装置全体を第 1 実施形態と比較して安価に製造することができる。また、この回路の作動（通常運転、精製器内に蓄積した汚染物質の除去運転等）は基本的に第 1 実施形態と同じである

ため説明は省略する。

つづいて、本発明の第3実施形態について図7を参照して説明する。第1、第2実施形態では、精製器から気化した汚染物質を排気するために専用の排気ポンプ8を使用していたが、第3実施形態は、装置内に存在する循環ポンプ7を排気ポンプとして利用した点、およびデューワー2内の圧力制御を行わず配管を省略し、装置の簡略化を図った点に特徴がある。ここでは第3実施形態の特徴点を中心に説明し、作動等の説明は省略する。なお、第1実施形態と同じ部材には同じ符号を使用しており、図中E Vは電磁弁、Vは切替弁であり、E V、Vの後の数字は、電磁弁の位置を示している。他の符号も同様である。

図7において、第1実施形態中の略4 Kライン内の一定流量制御弁M F C 1の代わりに略4 Kライン内には調整弁N V 1 0、マスフローメータ4 K M F、フローメータF M 1を設けている。また略4 0 Kライン内には一定流量制御弁M F C 2の代わりに調整弁N V 1 1、マスフローメータ4 0 K M F、フローメータF M 2を設けている。また、ヘリウムポンプ1からは切替弁3 4を開き直接ヘリウムガスを切替弁V 3 1、V 3 2を介して循環ポンプ7または回路内に供給できる構成としている。さらに、前記第1、第2精製器6 A、6 Bへの流入側回路には、それぞれチャッキバルブC V、ノーマルクローズの排気用電磁弁E V 3 1、E V 3 2を介してマスフローメータM Fが接続され、このマスフローメータM Fは循環ポンプ7の流入弁V 1 3に接続されている。また、循環ポンプの流出弁V 1 2の下流に設けた切替弁V 1 1とノーマルオープン電磁弁E V 3 4との間の回路にはノーマルクローズの大気開放用電磁弁E V 3 5を有する大気開放用回路が接続されている。

この循環式液体ヘリウム再液化装置では、公知のようにデューワー2で蒸発したヘリウムガスは切替弁3 3→ノーマルオープンの電磁弁E V 3 3→流入弁1 3→循環ポンプ7→流出弁1 2→ノーマルオープンの電磁弁E V 3 4を経てその下流側で分岐され、一方は略4 Kライン内の調整弁N V 1 0を経て第1精製器6 Aに入り、他方は略4 0 Kライン内の調整弁N V 1 1を経て第2精製器6 Bに入り、第1、第2冷凍機で冷却されデューワー2に供給される。この作動は第1実施形態と同様である。

精製器内に蓄積した汚染物質を除去するには、精製器内のヒータを加熱し、流入弁V 1 3、電磁弁E V 3 3、電磁弁E V 3 4を閉じ、電磁弁E V 3 1、E V 3 2、E V 3 5を開いて循環ポンプ7を作動すると、精製器6内のガスは、電磁弁E V 3 1、E V 3 2、マスフローメータMFを介して流入弁V 1 3から循環ポンプ7で吸引され、流出弁V 1 2、電磁弁E V 3 5から大気に開放される。このような作動により、精製器6に汚染物質が蓄積した場合には、精製器6のヒータを作動して精製器を加熱し、精製器6内で汚染物質を気化させ、さらに、前記のように電磁弁E V 3 1、E V 3 2、E V 3 5を開いて循環ポンプ7を作動すると精製器6内のガスを簡単に大気に放出することができ、精製器内に蓄積した汚染物質を容易に系外に排出することができる。なお、この時、デュワーからの蒸発ヘリウムガスも混入し吸引されることになる。

以上、本発明について三つの実施形態について説明したが、本発明に係る精製器は断面円筒状に限定することなく、種々の三角、四角等の形状を採用することができ、また上部管の形状、フィンの形状も上記と同様な機能を達成できるものであれば種々の形態を採用できる。さらにフィンは表面積を大きくするために表面に凹凸を形成することも可能である。また流路の閉塞状態は温度や圧力ではなく、流速等によっても検知することが可能であり、さらにヒータの作動温度、作動時間等も手動、自動によって任意に変更することも可能である。自動設定の場合にはパソコン等を使用することで容易に実現することができる。また蛇腹部材は、導入パイプからハウジングまでの熱伝導経路を長くとることができる形状であれば、種々の形態を採用することができる。また、ヒータ作動に係わる各制御モードも、設計時において自由に設定することが可能である。また、回路内の弁の種類、弁の配置、弁の個数等も上記作動を行うことが可能であれば、種々の弁、種々の配置を採用することができる。

さらに、本発明はその精神または主要な特徴から逸脱することなく、他のいかなる形でも実施できる。そのため、前述の実施形態はあらゆる点で単なる例示にすぎず限定的に解釈してはならない。

産業上での利用可能性

本発明によれば、精製器を加熱することにより精製器に蓄積された汚染物質を気化し、気化した汚染物質を装置内の循環ポンプを利用して大気に放出することにより、循環式液体ヘリウム再液化装置の長期間の連続運転を可能としている。また、液体ヘリウム貯留槽で気化したヘリウムガスを全量回収し、再凝縮して液化する、再循環システムに好適な効率のよい精製器を提供することができる、また、一定流量制御弁MFCの代わりに複数の切替弁等を使用することにより、装置全体を安価に製造することができる。また、循環ポンプを排気ポンプとして利用した場合には、装置のさらなる簡略化を図ることが可能である。

請求の範囲

1. 液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置において、前記精製器にヒータを設けるとともに前記精製器流入側に排気回路を設け、前記ヒータによって精製器を加熱した際に発生する気化した汚染物質を前記排気回路を介してポンプで汲み上げ大気に放出するべく構成したことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置。

2. 前記排気回路には排気専用のポンプを備え、気化した汚染物質を前記排気専用のポンプで汲み上げ大気に放出するべく構成したことを特徴とする請求項1に記載の汚染物質排出機能を備えた汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置。

3. 前記精製器の流入側には精製器に流入するヘリウムガスの流量を調整するマスフローコントローラを設けたことを特徴とする請求項2に記載の汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置。

4. 前記精製器の流入側には複数の弁を設け、これらの弁を組み合わせることにより精製器に流入するヘリウムガスの流量を調整できるようにしたことを特徴とする請求項2に記載の汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置。

5. 前記排気回路は、精製器の流入側回路と前記循環ポンプの流入弁とを連通する回路として構成し、前記排気回路内には排気用の電磁弁を設け、さらに前記循環ポンプの下流側には大気放出用の電磁弁を配置して構成したことを特徴とする請求項1に記載の汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置。

6. 前記精製器から精製されたヘリウムを略4 K付近の温度のガスまたは液体で貯留する凝縮ポットを設け、前記凝縮ポットにはヒータを付設したことを特徴とする請求項1～請求項5のいずれかに記載の汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置。

7. 前記液体ヘリウム貯留槽（デュワー）には、液体ヘリウム貯留槽内の圧力

制御を行うための電磁弁が配置されていることを特徴とする請求項 1 ～請求項 6 の何れかに記載の汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置。

8. 液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウムを液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる液体ヘリウム再液化方法において、前記精製器を加熱することにより、精製器に蓄積された汚染物質を気化し、気化した汚染物質を大気に放出することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法。

9. 液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、凝縮ポットに貯留し、凝縮ポットから液体ヘリウムを液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる液体ヘリウム再液化方法において、少なくとも前記凝縮ポットまたは前記精製器のいずれか一方を加熱することにより、精製器に蓄積された汚染物質を気化し、気化した汚染物質を大気に放出することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法。

10. 前記気化した汚染物質を専用ポンプで吸引し大気に放出することを特徴とする請求項 8 または請求項 9 に記載の循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法。

11. 前記気化した汚染物質を循環ポンプで吸引し大気に放出することを特徴とする請求項 8 または請求項 9 に記載の循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法。

12. 前記凝縮ポットまたは前記精製器の加熱は、精製器内の圧力が一定値以上と成った時に加熱を開始し、圧力が一定値以下になった時に加熱を停止することを特徴とする請求項 9 ～請求項 11 のいずれかに記載の循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法。

13. 前記凝縮ポットまたは前記精製器の加熱は、精製器内の流速が一定値以下と成った時に加熱を開始し、流速が一定値以上になった時に加熱を停止することを特徴とする請求項 9 ～請求項 11 のいずれかに記載の循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法。

14. 前記凝縮ポットまたは前記精製器の加熱、冷却は、加熱・逆流モード、冷却モード、循環回復モード、液面回復モードに従って行うことを特徴とする請求

項 9 ～請求項 1 3 のいずれかに記載の循環式液体ヘリウム再液化装置からの汚染物質排出方法。

1 5. 液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する精製器であって、前記精製器は熱伝導性のよいハウジングと、このハウジングに連続して設けた汚染物質固化部と、このハウジング内にヘリウムガスを導入するための導入手段と、前記固化部に付着した汚染物質を気化する加熱手段とを備え、精製器内で気化した汚染物質を前記導入手段を介して大気に放出できるようにしたことを特徴とする汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する精製器。

1 6. 前記汚染物質固化部は熱伝導性のよいフィンにより構成したジグザクの流路であることを特徴とする請求項 1 5 に記載の汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する精製器。

1 7. 前記ハウジング内には、熱勾配を小さくするための部材を介して導入手段を支持したことを特徴とする請求項 1 5 または請求項 1 6 に記載の汚染物質排出機能を備えた循環式液体ヘリウム再液化装置に使用する精製器。

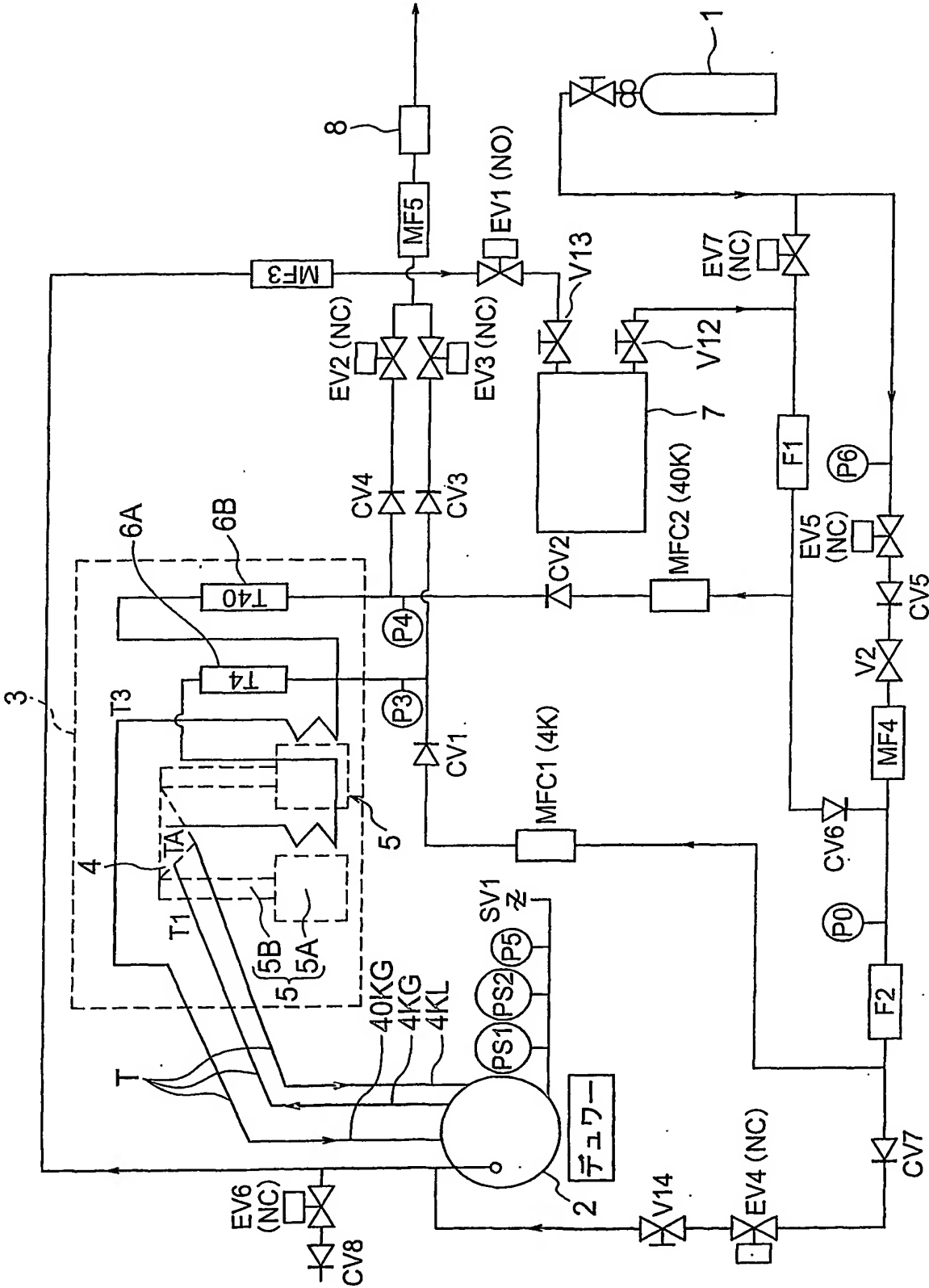
1 8. 前記熱勾配を小さくするための部材はステンレス製の蛇腹部材であることを特徴とする請求項 1 7 に記載のヘリウムガス精製器。

1 9. 液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置に使用するトランスファーチューブであって、前記トランスファーチューブは、中心部に略 4 K の液体ヘリウム（略 4 K L）が流れる管が配置され、その外側に同軸状に略 4 K の液体ヘリウムガス（略 4 K G）が流れる管が配置され、さらに、その外側に同軸状に略 4 0 K の液体ヘリウムガスが流れる管が配置され、各管の間、および最外側の管の外側には真空断熱層が形成されていることを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置に使用するトランスファーチューブ。

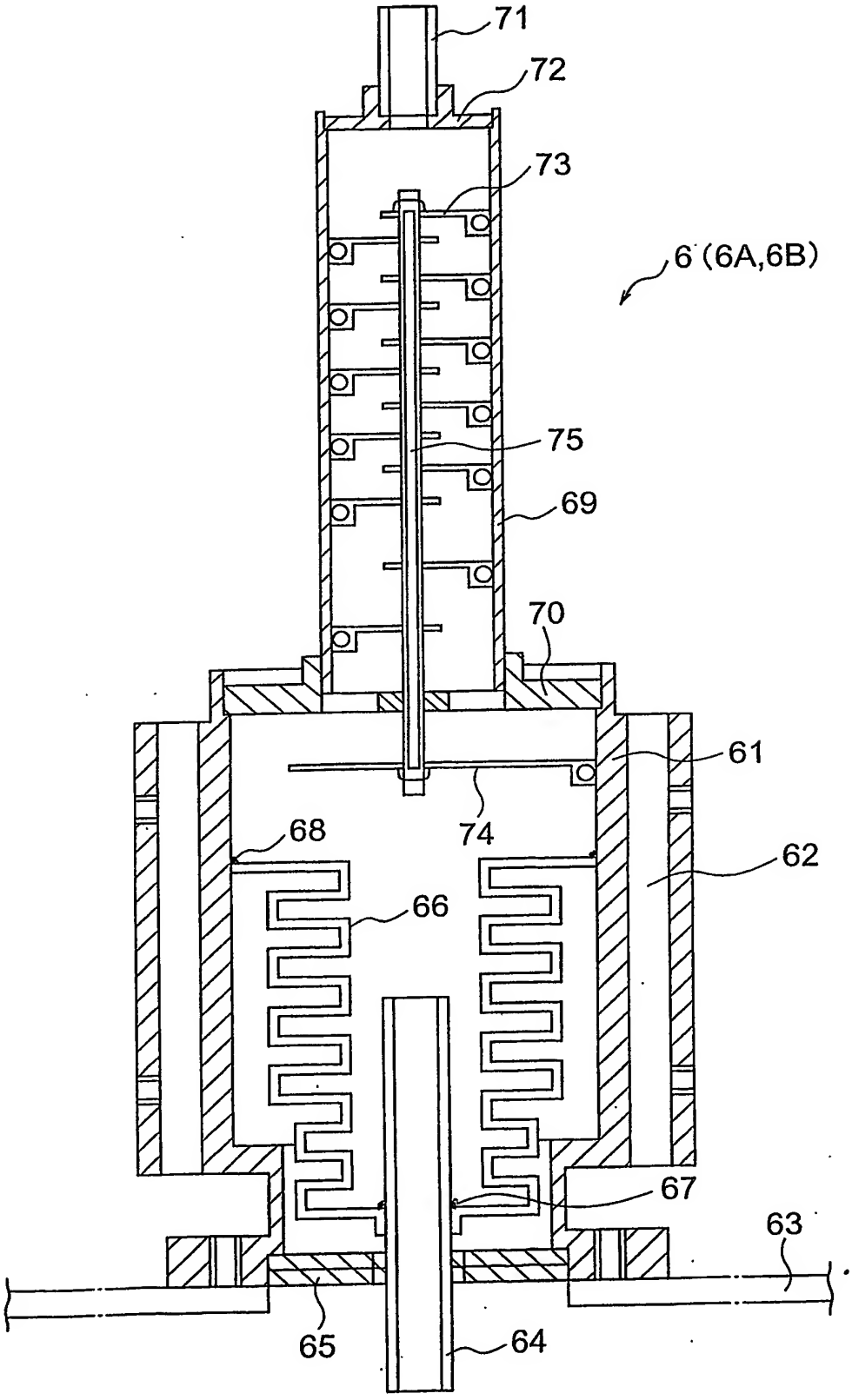
2 0. 前記略 4 K の液体ヘリウム用の管とその外側に同軸状に配置した略 4 K の液体ヘリウムガス用の管との間の真空断熱層の先端、および最外側の略 4 0 K の

液体ヘリウムガスの管の周囲に形成した真空断熱層の先端にはヒータが配置されていることを特徴とする請求項 19 に記載の循環式液体ヘリウム再液化装置に使用するトランスファーチューブ。

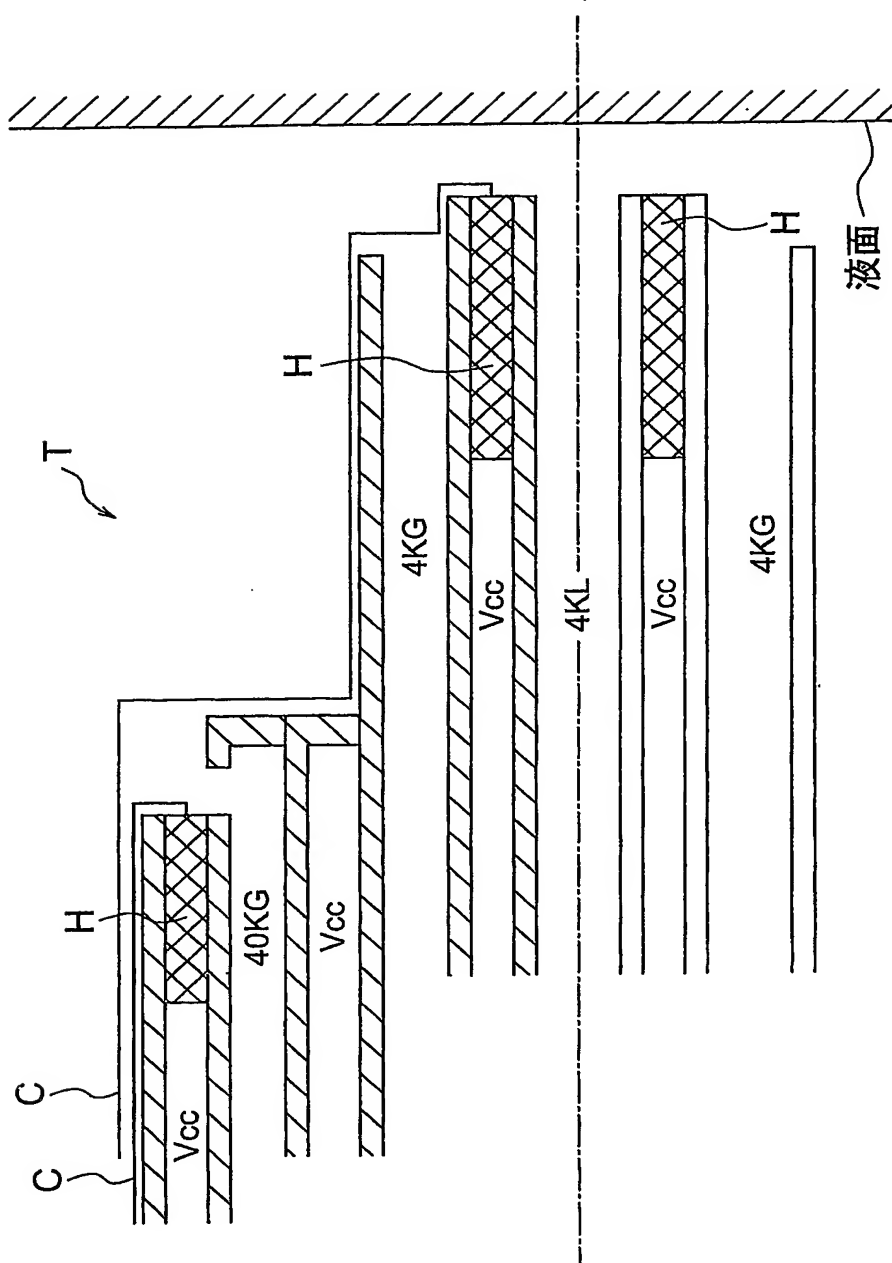
第 1 図



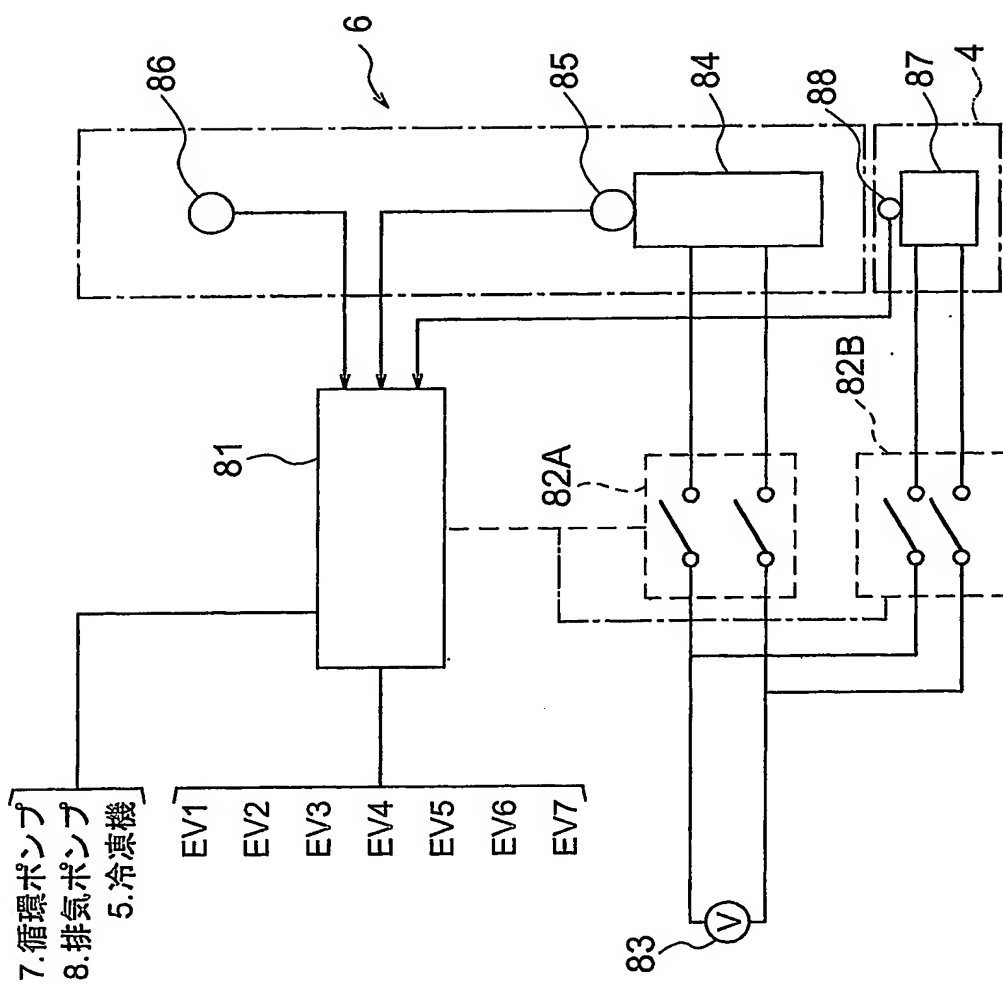
第 2 図



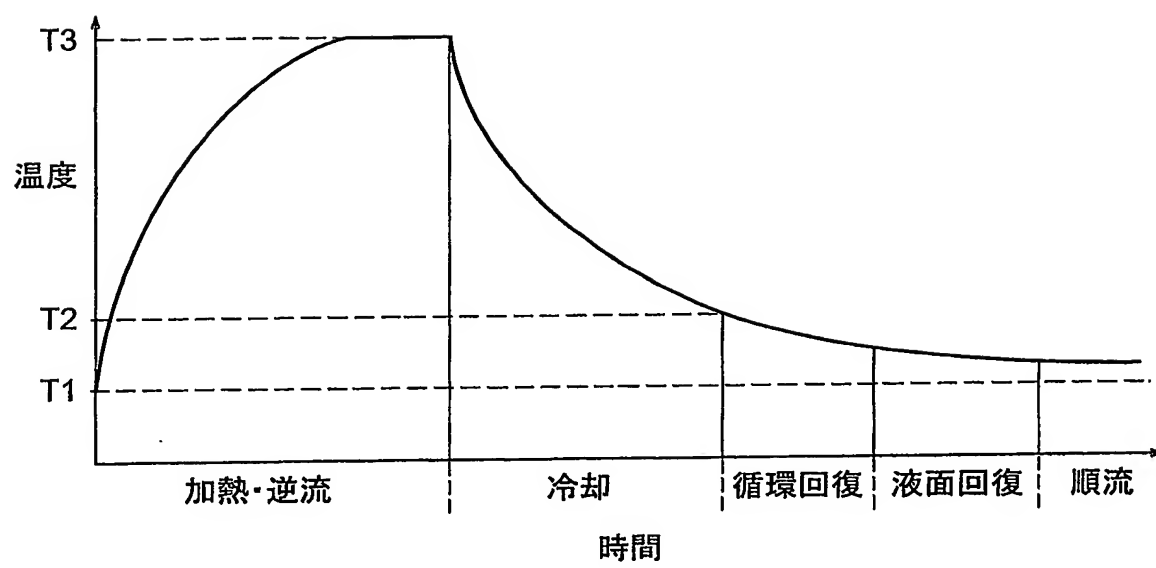
第3図



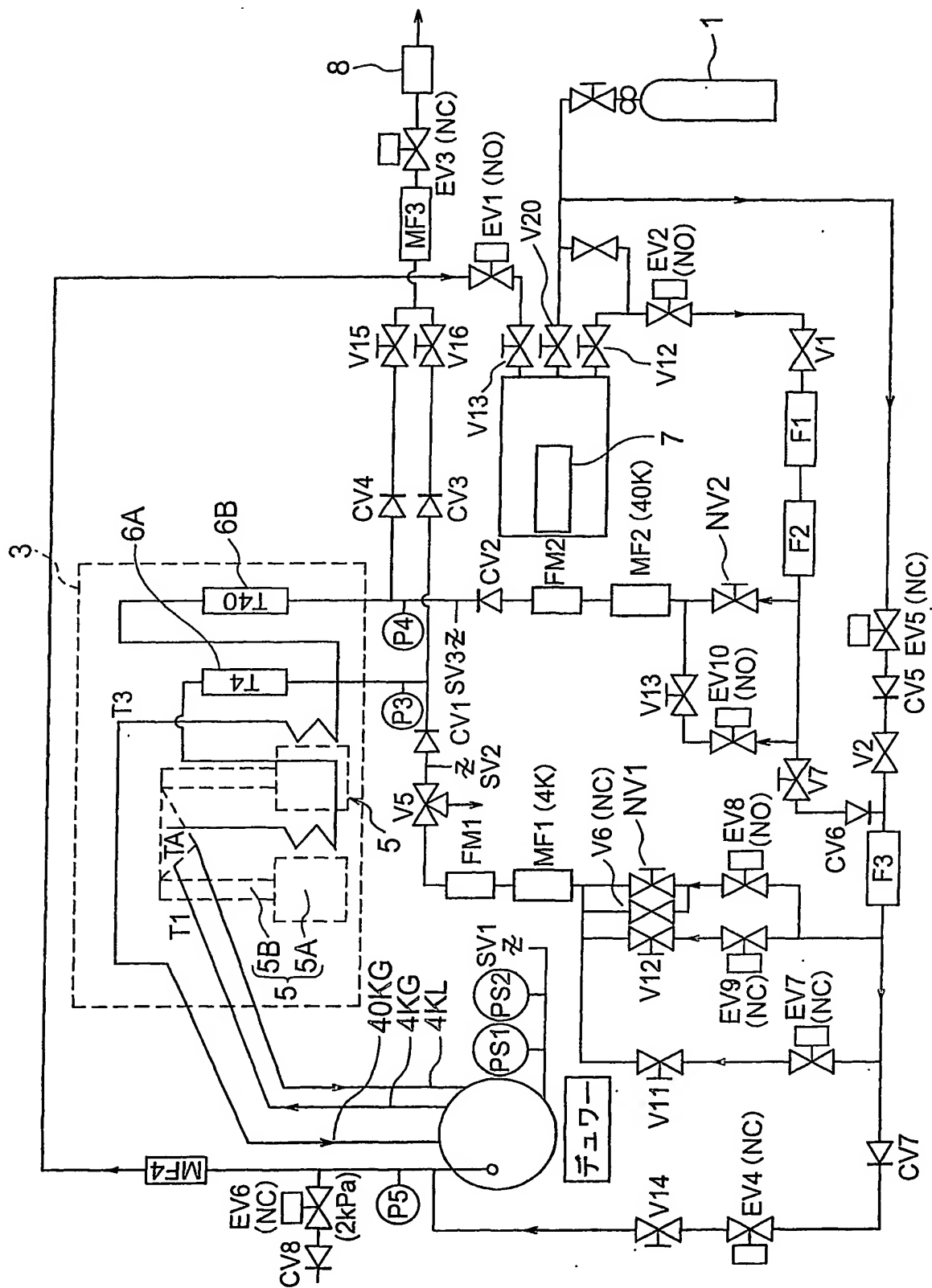
第4図



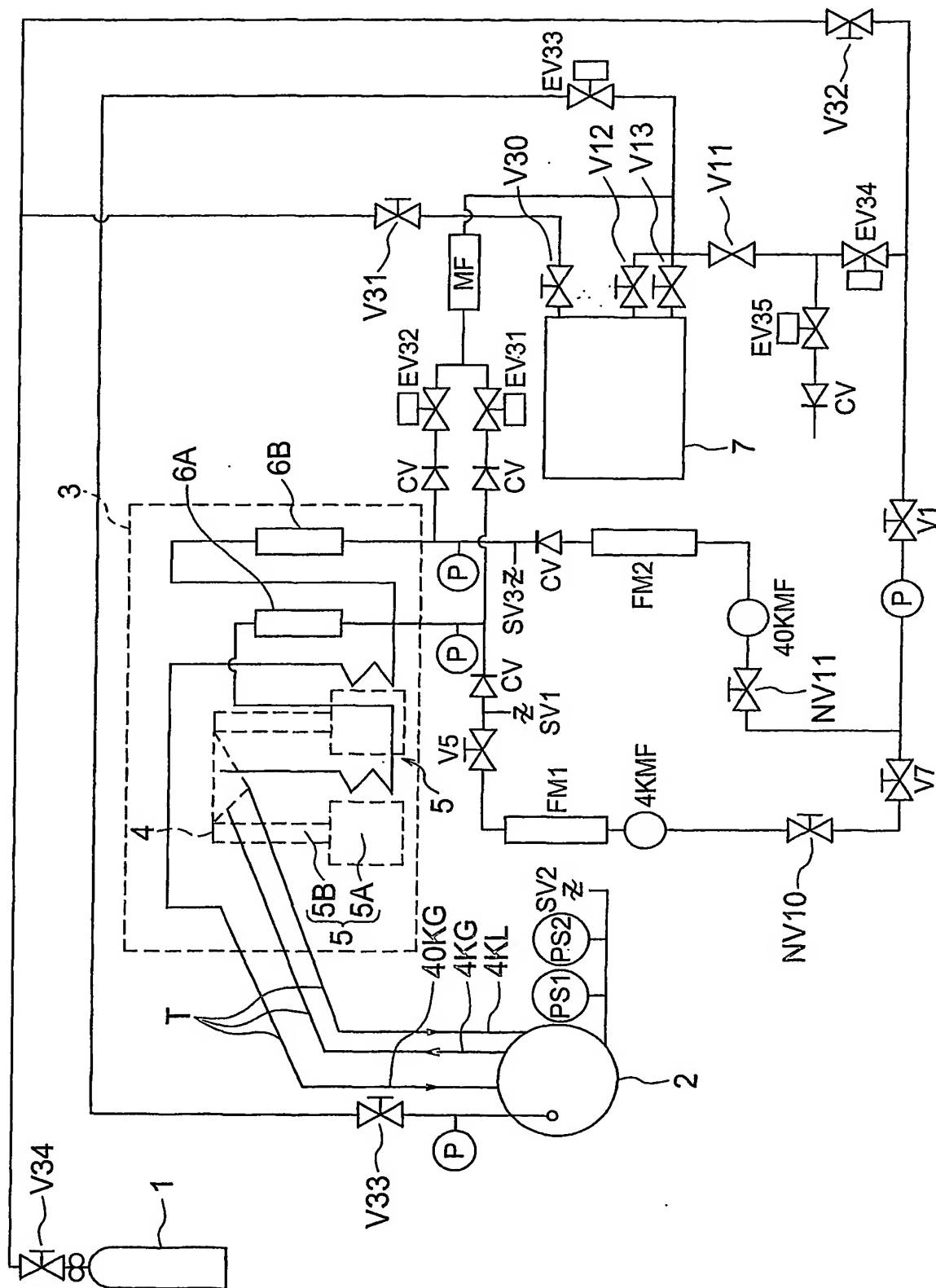
第 5 図



第 6 図



第 7 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11886

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ F25J1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ F25J1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	EP 1197716 A1 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORP.), 17 April, 2002 (17.04.02), Full text & JP 2000-193364 A & WO 00/39513 A1	19, 20 1-18
Y	JP 2000-105072 A (Japan Science and Technology Corp.), 11 April, 2000 (11.04.00), Claims; page 3, Par. No. [0015] to page 4, Par. No. [0021] (Family: none)	1-18

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
07 November, 2003 (07.11.03)

Date of mailing of the international search report
25 November, 2003 (25.11.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11886

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-248964 A (Sumisho Fine Gas Kabushiki Kaisha), 14 September, 2001 (14.09.01), Claims; page 3, Par. No. [0026] to page 5, Par. No. [0040] (Family: none)	1-18
A	JP 7-260094 A (Mitsubishi Electric Corp.), 13 October, 1995 (13.10.95), Claims; page 4, Par. Nos. [0022] to [0023] (Family: none)	1-18
A	JP 2-056213 A (Teisan Kabushiki Kaisha), 26 February, 1990 (26.02.90), Claims; page 3, upper right column, line 13 to page 4, lower left column, line 18 (Family: none)	1-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ F25J1/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ F25J1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996
日本国公開実用新案公報	1971-2003
日本国登録実用新案公報	1994-2003
日本国実用新案登録公報	1996-2003

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	EP 1197716 A1 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION), 2002.04.17, 全文 & JP 2000-193364 A & WO 00/39513 A1	19, 20 1-18
Y	JP 2000-105072 A (科学技術振興事業団), 2000.04.11, 特許請求の範囲, 第3頁段落【0015】-第4頁段落【0021】, (ファミリーなし)	1-18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.11.03

国際調査報告の発送日

25.11.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
新居田 知生

4Q 8618

電話番号 03-3581-1101 内線 3466



C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2001-248964 A (住商ファインガス株式会社) , 2001. 09. 14, 特許請求の範囲, 第3頁段落【0026】 - 第5頁段落【0040】 , (ファミリーなし)	1-18
A	J P 7-260094 A (三菱電機株式会社) , 1995. 10. 13, 特許請求の範囲, 第4頁段落【0022】 - 【0023】 , (ファミリーなし)	1-18
A	J P 2-056213 A (テイサン株式会社) , 1990. 02. 26, 特許請求の範囲, 第3頁右上欄第13行- 第4頁左下欄第18行, (ファミリーなし)	1-18